

# 酸化亜鉛の光デバイスへの応用に関する研究

木島 一広・清水 章良・中村 卓・河野 裕・鳥養 映子<sup>\*1</sup>・堀 裕和<sup>\*1</sup>

## Study on an Application of Zinc Oxide to Optical Devices

Kazuhiro KIJIMA, Akio SHIMIZU, Takashi NAKAMURA, Hiroshi KONO,  
Eiko TORIKAI<sup>\*1</sup> and Hirokazu HORI<sup>\*1</sup>

### 要 約

比較的入手しやすい材料である酸化亜鉛の非線形光学特性に注目し、現在ニオブ酸リチウム等が主に用いられている光電界センサへ酸化亜鉛を適用して、高精度にノイズ測定が可能な電界センサの実現を目指して研究を行った。平成 26 年度は光電界センサに適切な構造を決定するため、基礎的な光変調実験により、適切な材料形状や結晶方位などの検討を実施した結果、単結晶ウエハーを用いて電界センサの実現が可能であることを見いだした。

### 1. 緒 言

酸化亜鉛は、その粉末を亜鉛華または亜鉛白などと呼び古くより顔料や白粉として多く用いられており、身近な材料である。電子部品としてもバリスタ、サーミアブソーバなどといった非線形抵抗素子や、表面弾性波素子などの圧電素子として用いられている<sup>1)</sup>。また、近年では、ワイドギャップ半導体としての特性が注目され発光素子やトランジスタなどの研究が盛んに行われたり、原料亜鉛の埋蔵量の多さや精製方法の確立に由来する入手のしやすさから透明導電膜などレアメタル利用部品の代替材料としても注目を集め、様々な用途に研究活用されたりしている。

本研究では、酸化亜鉛の非線形光学特性に注目し、電磁波測定において、センサと測定器の間の接続に光を用いることができ、金属ケーブルによる電波の反射や信号減衰の低減が期待できる光電界センサに酸化亜鉛を利用することを試みた。現在、光電界センサには主に電気光学係数の大きなニオブ酸リチウム結晶が用いられている。ニオブ酸リチウムの原料となっているニオブはその9割をブラジルからの輸入に頼っている。現状では安定した供給がされているが、専門家の中にはその資源偏在リスクを懸念する意見も出ている<sup>2)</sup>。そのため、材料供給の多様性の面から光電界センサに異なる材料を用いる試みは有益であると思われる。

平成 26 年度は光電界センサに適切な構造を決定するため、基礎的な光変調実験により、適切な材料形態（バルク、薄膜）や結晶方位などの検討を実施したので報告。

する。

### 2. 実験方法

#### 2-1 酸化亜鉛の概略

酸化亜鉛は図1のような六方晶のウルツ鉱型の結晶構造をとるため、光学的な一軸性結晶となる。結晶軸である  $c$  軸が光学軸となり、屈折率は常光屈折率が 1.999、異常光屈折率が 2.015（いずれも波長 633 nm、ひずみ一定のときの値）である<sup>3)</sup>。また、電界センサを形成する際に重要な指標となる電気光学定数（電気光学効果の起こりやすさを示す）は  $r_{33}$  が 2.6 pm/V、 $r_{13}$  が -1.4 pm/V（波長 633 nm、ひずみ一定）である<sup>3)</sup>。光電界センサで多く用いられているニオブ酸リチウムは  $r_{33}$  が 30.8 pm/V であるため<sup>3)</sup>、ニオブ酸リチウムと比較すると電気光学効果は小さいといえる。

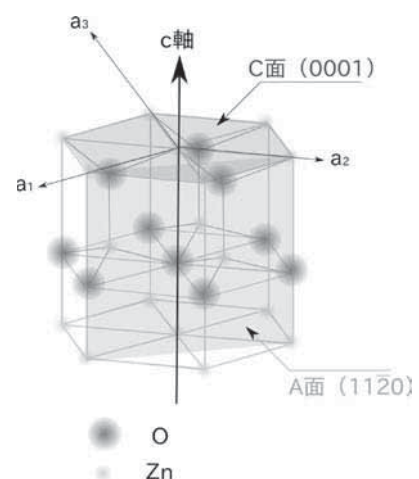


図1 酸化亜鉛の結晶構造

\*1 国立大学法人山梨大学

結晶を切り出す際には、 $c$ 軸が法線となる面がC面、 $a_3$ 軸が法線となるがA面となっている。

### 2-2 単結晶ウエハーによる変調実験

酸化亜鉛単結晶ウエハーについて、高周波信号による光変調の可否を調べる実験を実施した。A面とC面の酸化亜鉛単結晶ウエハー（オルベパイオニア 10 mm×10 mm 厚さ 0.5 mm 両面研磨）を光学ガラス（BK7）上に光学接着剤（NOALAND NOA63）を用いて貼付し、その上から、ガラスエポキシ樹脂基板（松下電工 誘電体厚 1.6 mm 銅箔厚 35  $\mu$ m）を用いて製作した電極を、導電テープを介して装荷した。電極には、信号発生器（エヌエフ回路設計ブロック 1940）を用いて電圧を印加した。結晶には、斜入射条件でレーザー光（785 nm）を入射し、アバランシェフォトダイオードモジュール（浜松ホトニクス C5658）で光を受光し、スペクトルアナライザ（アドバンテスト R3361A）で検波した。

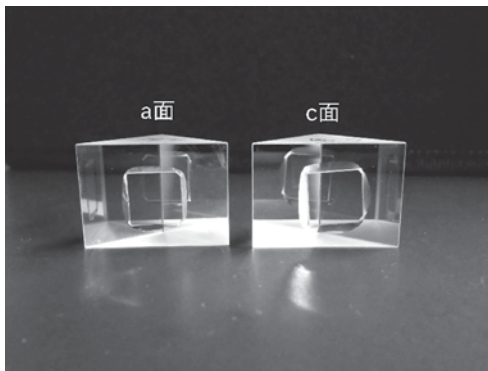


図2 実験に用いた酸化亜鉛結晶

### 2-3 薄膜による変調実験

スパッタリングによって成膜された酸化亜鉛薄膜について高周波信号による光変調の可否を調べる実験を実施した。光学ガラス（BK7）に対して酸化亜鉛ターゲットを装着したスパッタリング装置（アルバック機工 RFS-200）を用いて成膜を行った。

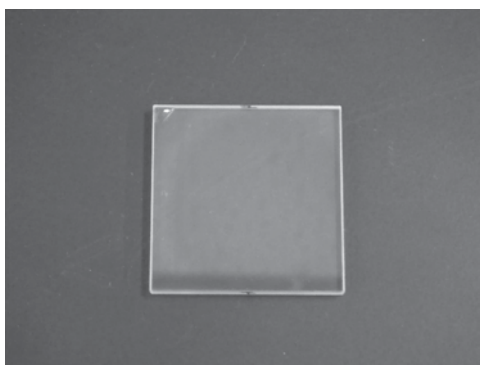


図3 スパッタリングサンプルの例

その上から、ガラスエポキシ樹脂基板（松下電工 誘電体厚 1.6 mm 銅箔厚 35  $\mu$ m）を用いて製作した電極を、導電テープを介して装荷した。その他の実験条件は、単結晶ウエハーによる変調実験と同様である。

## 3. 実験結果および考察

### 3-1 単結晶ウエハーによる変調実験

単結晶ウエハーによる変調実験で得られたスペクトルを図4、図5に示す。

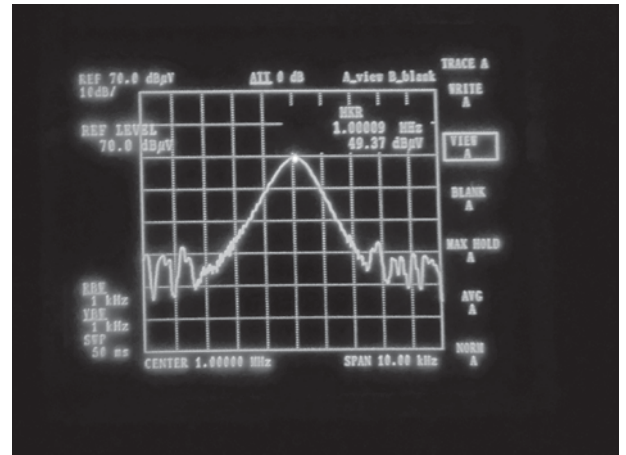


図4 観測されたスペクトル（酸化亜鉛）  
（A面 1 MHz 信号発生器出力 20 Vp-p）

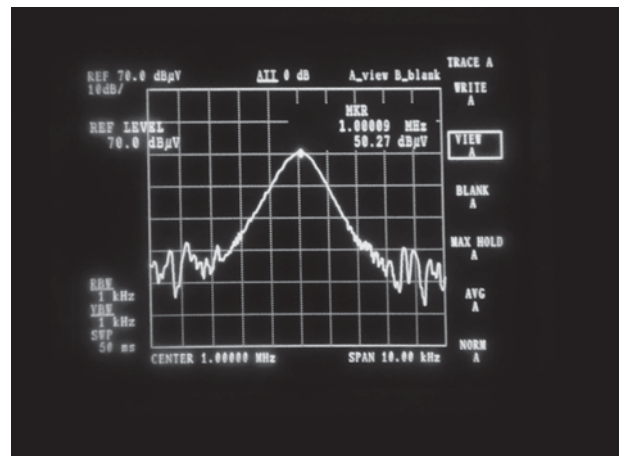


図5 観測されたスペクトル（酸化亜鉛）  
（C面 1 MHz 信号発生器出力 20 Vp-p）

いずれの面方位の結晶においても、検光子等を使わずに振幅変調がレーザー光にかかっていることを確認することができた。なお、今回の測定においては、信号発生器を周波数 1 MHz、出力 20 Vp-p に設定し、また、スペクトルアナライザは、分解能帯域幅 1 kHz、ビデオ帯域幅 1 kHz に設定して実験した。スペクトルアナライザで検出された最大出力は、A面 で 49.37 dB $\mu$ V、C面 で 50.27 dB $\mu$ V であった。面による高周波検出出力の差は今回の

実験では確認されなかった。これについては、現在原因を調査中である。

参考値として、ニオブ酸リチウム単結晶ウエハー（NEL クリスタル Y カット 両面ミラー 厚さ 0.5 mm）について同様の測定を行った結果を図 6 に示す。

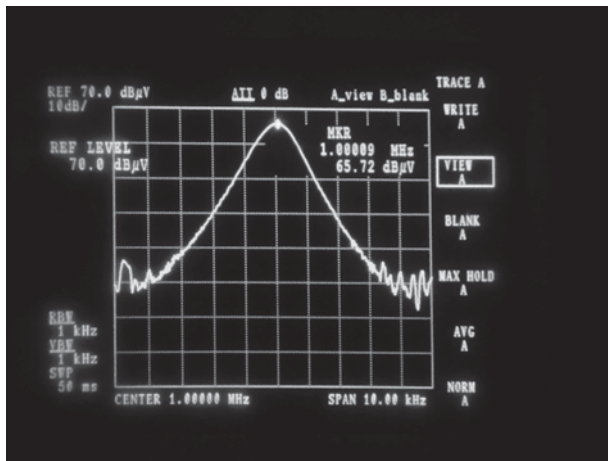


図 6 観測されたスペクトル（ニオブ酸リチウム）  
（Y カット 1 MHz 信号発生器出力 20 Vp-p）

ニオブ酸リチウムの測定において、信号発生器やスペクトルアナライザの設定は、酸化亜鉛単結晶ウエハーのときと同様の値となっている。スペクトルアナライザで検出された最大出力は 65.72 dBμV であった。酸化亜鉛単結晶ウエハーの最大検出値との差は 15dB ほどであり、これは電圧比に直すと 5.6 倍となるが、両者の電気光学定数の比が 12 倍程度の差があることを考えると、実際の結晶の特性よりも小さい性能差で酸化亜鉛が変調できていることが示唆された。

### 3-2 薄膜による変調実験

作成したスパッタリングサンプルの X 線回折結果を図 7 に示す。

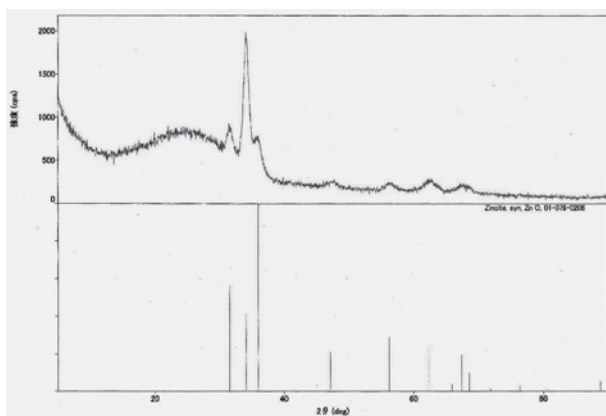


図 7 作成したスパッタリングサンプルの X 線回折結果

スパッタリングは、基板加熱はせずに高周波出力

180W、アルゴン圧力 2.0 Pa で実施したが、基板がのせられた電極は最高で 100°C 程度になっていた。X 線回折結果を見ると作成された薄膜は主に C 軸に配向していた。このサンプルを用いて変調実験を行ったが、変調波は検出されなかった。原因として、作成された薄膜の膜質の影響、薄膜を作成した基板の屈折率影響が考えられるため、サファイア基板を用いた成膜を実施し、検討を継続中である。

## 4. 結 言

本研究では、比較的入手しやすい材料である酸化亜鉛の非線形光学特性に注目し、現在ニオブ酸リチウム等が主に用いられている光電界センサへ酸化亜鉛を適用することで、原料の入手性に優れ、資源偏在リスクも低く、かつ高精度にノイズ測定が可能な電界センサの実現を目指して実験を行った。平成 26 年度は光電界センサに適切な構造を決定するため、基礎的な光変調実験により、適切な材料形状（バルク、薄膜）や結晶方位などの検討を実施した結果、単結晶ウエハーを用いて電界センサの実現が可能であることを見いだした。平成 27 年度はさらに検討を進め、光電界センサの試作を実施する予定である。

## 参考文献

- 1) 和佐清孝, 早川茂: 薄膜化技術, 共立出版 (2002)
- 2) 原田 幸明: 「資源リスクと対応」(シリーズ「日本の安全と科学技術」), (独) 科学技術振興機構 サイエンスポータル,  
[http://scienceportal.jst.go.jp/archives/reports/safety/20120216\\_01.html](http://scienceportal.jst.go.jp/archives/reports/safety/20120216_01.html)
- 3) 西原浩, 春名正光, 栖原敏明: 光集積回路, オーム社 (1993)